

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Komunikace mezi železničními přejezdy a chytrými auty

Petr Machač

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr Machač**  
Osobní číslo: **D16548**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Aplikovaná informatika v dopravě**  
Téma práce: **Komunikace mezi železničními přejezdy a chytrými auty.**  
Zadávající katedra: **Katedra informatiky v dopravě**

### Zásady pro vypracování

Práce bude zaměřena na zmapování současného stavu zabezpečení železničních přejezdů a na navržení nového postupu, který by zamezil střet automobilu s projíždějícím vlakem.

Cílem práce je návrh zabezpečení železničního přejezdu proti vjezdu automobilu v okamžiku průjezdu vlaku. Na železničním přejezdu by bylo instalováno vysílací zařízení, které by dávalo signál přijíždějícímu „chytrému“ automobilu. Vyslaný signál by informoval řidiče o nastalé situaci a „chytrý“ automobil by kontroloval reakci řidiče. V případě, že by řidič nereagoval na varovné signály, automobil by automaticky snížil svoji rychlost a pokud by i nadále řidič nereagoval, pak by automobil zcela a včas zastavil.

Funkčnost navrženého algoritmu bude ověřena počítačovou simulací.

Rozsah pracovní zprávy: **30 normostran**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. *Zákon č. 361/2000 Sb.* [online]. 2000 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
2. *Zabezpečovací technika v železniční dopravě: Přejezdové zabezpečovací zařízení* [online]. c2009 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/130>
3. *Autonomní řízení: autoweb.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/autonomni-rizeni-dopodrobna-si-predstavit-peti-stupni-automatizace/>

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Jehlička, CSc.**  
Katedra informatiky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **28. listopadu 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **31. ledna 2020**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. Ing. Karel Greiner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15. 1. 2021

Petr Machač

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Jehličkovi, CSc., za odbornou pomoc, cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích bakalářské práce. Dále děkuji své rodině, přátelům a přítelkyni za trpělivost a podporu při studiu.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce analyzuje dosavadní situaci přejezdových zabezpečovacích zařízení a autonomního řízení v silničních vozidlech, dále také komunikaci mezi železničními přejezdy se silničními vozidly s autonomním řízením. Součástí práce je na základě obrázkových výstupů ze simulačního scénáře znázornit postupy řídicí jednotky silničního vozidla.

Samotným cílem je návrh nového zabezpečení železničních přejezdů včetně jejich hardwarového vybavení a komunikačního rozhraní.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

nehodovost, rizika nehody, železniční přejezdy, přejezdové zabezpečovací systémy, vlaky, chytrá auta, autonomní řízení, komunikace

## **TITLE**

Communication between railway crossings and smart cars.

## **ANNOTATION**

This thesis analysis current status of railway crossing safety and autonomous driving systems in vehicles, as well as communication of railway crossings with autonomous cars. Based on output from computer simulation, there is a description of procedures of vehicle control unit.

Goal of the thesis is to propose new system for railway crossing safety including its hardware equipment and communication interface.

## **KEYWORDS**

Accident rate, accident risk, railway crossings, systems of railway crossing safety, trains, smart cars, autonomous driving, communication

## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK .....	10
SEZNAM ZKRATEK .....	11
ÚVOD.....	12
1 Nehody na železničních přejezdech.....	13
1.1 Nehody zapříčiněné infrastrukturou a technikou .....	14
1.2 Nehody zapříčiněné lidským faktorem .....	14
2 ANALÝZA DOSAVADNÍ SITUACE .....	15
2.1 Analýza železničních přejezdů.....	15
2.1.1 Definice železničního přejezdu.....	16
2.1.2 Zákon o železničních přejezdech v silniční dopravě .....	16
2.1.3 Křížení dráhy a značení .....	18
2.1.4 Číslování železničních přejezdů .....	22
2.1.5 Přejezdové zabezpečovací zařízení.....	23
2.2 Analýza silničních vozidel a provozu .....	27
2.2.1 Autonomní řízení .....	27
2.2.2 Dedikovaná komunikace krátkého dosahu (DSRC).....	31
3 Návrh nového zabezpečovacího systému .....	32
3.1 Hardware a konfigurace .....	32
3.1.1 Doplnění vysílacího zařízení na železničním přejezdu.....	32
3.1.2 Komunikační zařízení a konfigurace silničního vozidla.....	33
3.2 Vyhodnocení vozidla .....	33
3.2.1 Informace o železničním přejezdu .....	33
3.2.2 Zpomalení vozu a úplné zastavení.....	34
3.2.3 Zablokování řízení .....	34
3.2.4 Autonomní řízení .....	35
3.3 Animace návrhu .....	35
3.4 Simulace návrhu.....	38
3.4.1 Prvky simulace.....	38
3.4.2 Výstupní data .....	41
4 Zhodnocení návrhu .....	43
ZÁVĚR.....	44

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	46
Příloha C .....	47



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Střetnutí na železničních přejezdech.....	13
Obrázek 2 - Typ zabezpečení k počtu nehod rok 2015.....	13
Obrázek 3 - Železniční přejezd .....	15
Obrázek 4 - Železniční přejezd se závorami.....	19
Obrázek 5 - Železniční přejezd bez závor .....	19
Obrázek 6 - Návěstní desky 240 m, 160 m a 80 m.....	20
Obrázek 7 - Směrová šipka pro odbočení .....	20
Obrázek 8 - Výstražný kříž pro železniční přejezd jednokolejný.....	21
Obrázek 9 - Výstražný kříž pro železniční přejezd vícekolejný.....	21
Obrázek 10 - Číslování přejezdů .....	22
Obrázek 11 - PZZ-RE.....	24
Obrázek 12 - PZZ-EA.....	25
Obrázek 13 - PZZ-AC.....	26
Obrázek 14 - Autonomní řízení .....	27
Obrázek 15 - Autonomní ř. (stupeň 0.) přístrojová deska .....	27
Obrázek 16 - Autonomní ř. (stupeň 0.) otáčkoměr .....	28
Obrázek 17 - Autonomní ř. (stupeň 1.) Lane assist, Adapt, tempomat .....	29
Obrázek 18 - Autonomní ř. (stupeň 1.) Front Assist .....	29
Obrázek 19 - Autonomní ř. (stupeň 2.) automatické parkování .....	29
Obrázek 20 - Autonomní ř. (stupeň 4.).....	30
Obrázek 21 - Autonomní ř. (stupeň 5.).....	30
Obrázek 22 - Animace (Aktivace PZZ).....	35
Obrázek 23 - Animace (Přijetí zprávy).....	36
Obrázek 24 - Animace (vzdálenost 100 m) .....	36
Obrázek 25 - Animace (vzdálenost 50 m) .....	37
Obrázek 26 - Animace (Deaktivace) .....	38
Obrázek 27 - Čas a datum simulace.....	39
Obrázek 28 - Okna zobrazující statistické údaje .....	40
Obrázek 29 - Příloha C (Screenshot simulačního modelu).....	47

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 - Železniční přejezdy v číslech .....	18
Tabulka 2 - výsledná data simulace .....	41

## **SEZNAM ZKRATEK**

ČR – Česká republika

DSRC – Dedikovaná komunikace krátkého dosahu

GPS – Globální polohový systém

ITS – Inteligentní dopravní systém

JOP – Jednotné obslužné pracoviště

PZM – Mechanická přejezdová zabezpečovací zařízení

PZS – Přejezdové světelné zabezpečovací zařízení

PZZ – Přejezdové zabezpečovací zařízení

PZZ-RE – Přejezdové zabezpečovací zařízení reléové s elektronickými prvky

PZZ-EA – Přejezdové zabezpečovací zařízení elektronické

PZZ-AC – Přejezdové zabezpečovací zařízení reléové s elektronickými prvky, ovládané ze staničního zabezpečovacího zařízení (SZZ)

SZZ – Staniční zabezpečovací zařízení

SŽDC – Správa železniční dopravní cesty

# ÚVOD

V osobní i nákladní dopravě využíváme více druhů přepravy. Nejčastější kombinace v České republice je železniční a silniční doprava. V převážné většině se tyto cesty kříží, pokud nejde o víceúrovňové křížení. V tomto případě nastává kolizní bod a riziko nehodovosti. Aby nedocházelo ke střetům silničního a drážního vozidla, na více frekventované komunikaci, jsou na takovém křížení montovaná zabezpečovací zařízení.

Cílem této práce je návrh zdokonalení těchto zabezpečovacích zařízení, a tím zamezit jakémoliv pochybení řidiče vozidla.

První část práce se zabývá analýzou nehodovosti na železničních přejezdech v ČR. Tato část práce se dále zabývá rozborem důvodů zapříčnění nehod.

V druhé části práce je provedena analýza železniční dopravy. Respektive vypsání jednotlivých zákonů týkajících se železničních přejezdů, silničních značení a druhů zabezpečovacích zařízení. Dále se analýza zabývala aktuální a budoucí realizací vozidel. V práci jsou rozepsány jednotlivé stupně autonomního řízení a systému v silniční dopravě.

Poslední část této práce popisuje návrh rozšíření dosavadního zabezpečovacího zařízení. Návrh zařízení obsahuje hardwarovou část a následnou konfiguraci. Dále je popsán postup řídicího systému vozidla po jednotlivých úkonech. Celý tento návrh byl nasimulován a jednotlivé klíčové okamžiky byly vystřiženy a aplikovány do popisu návrhu.

# 1 Nehody na železničních přejezdech

Hlavním důvodem vzniku této bakalářské práce je problém nehodovosti na železničních přejezdech. Tyto kolize mohou být způsobené více faktory a lze na ně pohlížet ze strany špatné infrastruktury a techniky zabezpečovacího zařízení. V opačném případě je vina v lidském faktoru.

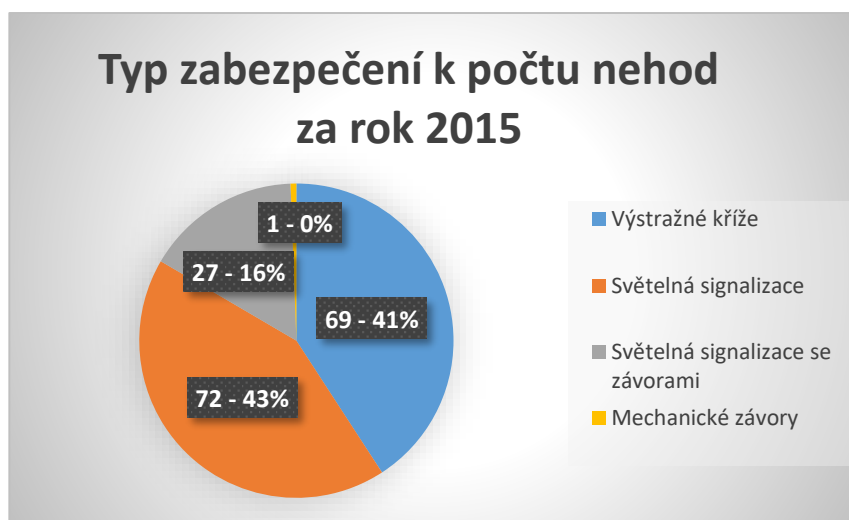
Obrázek č. 1 ukazuje počet nehod na železničních přejezdech za období 2003 – 2018. Dále lze vidět, že počet nehod na železničním přejezdu se postupně snižuje.



Obrázek 1 - Střetnutí na železničních přejezdech

Zdroj: (1) upraveno autorem

Roku 2015 se stalo 169 nehod na železničních přejezdech. Z toho většina přejezdů byla zabezpečena některým ze zabezpečovacích systémů. To však neznamená, že výstražný kříž má větší bezpečnost než zabezpečovací zařízení, ale spíše malou intenzitu provozu a nízké traťové rychlosti. Dále lze vidět, že světelná signalizace se závorami je daleko bezpečnější než bez závor. Viz obrázek č. 2



Obrázek 2 - Typ zabezpečení k počtu nehod rok 2015

Zdroj: (1) upraveno autorem

## 1.1 Nehody zapříčiněné infrastrukturou a technikou

Podmínky na železničních přejezdech ovlivňuje mnoho aspektů, které mohou zavinit nehodu.

Příklady rizikových faktorů způsobujících mimořádnou událost na železničním přejezdu (2):

- Špatné rozhledové poměry.
- Chybějící příčné prvky připomínající nutnost zastavení.
- Urychlující podélné linie, průhled daleko za přejezd.
- Nevhodné úhly křížení a překážky v rozhledu.
- Chybějící kontrast přejezdu, který zaniká např. v zástavbě.
- Zakryté značení nebo světelná signalizace, kvůli rostoucí zeleni (keře, větve stromu atd.)
- Nízké slunce nebo oslnění jiným zdrojem světla

Tyto faktory mohou ovlivnit rozhodnutí řidiče a zapříčinit špatné vyhodnocení situace.

Další důvod nehody může být nefunkční signalizace železničního přejezdu. Tato událost se stává výjimečně.

## 1.2 Nehody zapříčiněné lidským faktorem

Za drtivou většinu železničních nehod může nedbalost řidiče a nedodržení pravidel silničního provozu. Touto vinnou se stane 98 % železničních nehod. (3)

Mezi hlavní důvody těchto mimořádných kolizí můžeme zařadit ignorování světelného zařízení a vjetí na železniční přejezd. Důvodem takového konání řidičů silničních vozidel může být netrpělivost, uspěchanost nebo jen vlastní špatné vyhodnocení situace za účelem rychlého projetí.

## 2 ANALÝZA DOSAVADNÍ SITUACE

Cílem této části práce je analyzovat dosavadní situaci na železničních přejezdech a přiblížit aktuální situaci v ČR, z hlediska zákonů, infrastruktury a techniky. Dále zjištění informací o silničních vozidlech vybavených autonomním řízením a technice budoucnosti. Tato část práce je nezbytnou součástí pro možnost návrhu inovativního řešení železničních přejezdů.

### 2.1 Analýza železničních přejezdů

Železniční přejezdy tvoří důležitý prvek infrastruktury, který zasahuje nejen do železniční dopravy, ale také do dopravy silniční. Analýza železničních přejezdů je důležitým prvkem k návrhu této práce nového zabezpečovacího systému. Popsání jednotlivých prvků je nezbytné pro pozdější návrh.

Na obrázku č. 3 je světelné přejezdové zabezpečovací zařízení bez závor.



Obrázek 3 - Železniční přejezd

Zdroj: (Autor)

### 2.1.1 Definice železničního přejezdu

Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu), je v § 2 uvedeno: *„Železniční přejezd je místo, kde se úrovně kříží pozemní komunikace se železnicí, popřípadě s jinou dráhou ležící na samostatném tělese, a označené příslušnou dopravní značkou.“* (4)

Dále je zákon o drahách č. 266/1994 Sb. § 6: *„Při křížení železniční dráhy s pozemními komunikacemi v úrovni kolejí má drážní doprava přednost před provozem na pozemních komunikacích.“* (5)

Zákon o přednosti vyplývá ze základní fyzikální vlastnosti zachování kinetické energie. Vlaková souprava je mnohonásobně těžší než silniční vozidlo a tím je brzdná dráha daleko delší. Další aspekty, které hrají roli, je délka vlakové soupravy a pomalejší rozjezd vlaku oproti silničnímu vozidlu.

### 2.1.2 Zákon o železničních přejezdech v silniční dopravě

Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu) (4), uvádí v ustanoveních § 28 a § 29:

- *„Před železničním přejezdem si musí řidič počínat zvlášť opatrně, zejména se přesvědčit, zda může železniční přejezd bezpečně přejet.“*
- *Vozidla se před železničním přejezdem řadí za sebou v pořadí, ve kterém přijela. Nejde-li o souběžnou jízdu nebo o jízdu podle § 12 odst. 2, smějí vozidla přejíždět přes železniční přejezd jen v jednom jízdním proudu.“*
- *Ve vzdálenosti 50 m před železničním přejezdem a při jeho přejíždění smí řidič jet rychlostí nejvýše 30 km/h. Svítí-li přerušované bílé světlo signálu přejezdového zabezpečovacího zařízení, smí 50 m před železničním přejezdem a při jeho přejíždění jet rychlostí nejvýše 50 km/h. Při přejíždění železničního přejezdu nesmí řidič zbytečně prodlužovat dobu jeho přejíždění.“*



- *Dojde-li k zastavení vozidla na železničním přejezdu, musí jeho řidič odstranit vozidlo mimo železniční trať, a nemůže-li tak učinit, musí neprodleně učinit vše, aby řidiči kolejových vozidel byli před nebezpečím včas varováni.*
- *Před železničním přejezdem, u kterého je umístěna dopravní značka "Stůj, dej přednost v jízdě!", musí řidič zastavit vozidlo na takovém místě, odkud má náležitý rozhled na trať.*
- *Řidič nesmí vjíždět na železniční přejezd,*

*a) je-li dávana výstraha dvěma červenými střídavě přerušovanými světly signálu přejezdového zabezpečovacího zařízení,*

*b) je-li dávana výstraha přerušovaným zvukem houkačky nebo zvonku přejezdového zabezpečovacího zařízení,*

*c) sklápějí-li se, jsou-li sklopeny nebo zdvihají-li se závory,*

*d) je-li již vidět nebo slyšet přijíždějící vlak nebo jiné drážní vozidlo nebo je-li slyšet jeho houkání nebo pískání; toto neplatí, svítí-li přerušované bílé světlo signálu přejezdového zabezpečovacího zařízení,*

*e) dáva-li znamení k zastavení vozidla zaměstnanec dráhy kroužením červeným nebo žlutým praporkem a za snížené viditelnosti kroužením červeným světlem,*

*f) nedovoluje-li situace za železničním přejezdem jeho bezpečné přjetí a pokračování v jízdě.*

- *V případech uvedených v odstavci 1 písm. a), b) a c) smí řidič vjíždět na železniční přejezd pouze tehdy, jestliže před železničním přejezdem dostal od pověřeného zaměstnance provozovatele dráhy k jízdě přes železniční přejezd ústní souhlas. V tomto případě je řidič povinen řídit se při jízdě přes železniční přejezd pokyny pověřeného zaměstnance provozovatele dráhy. Pověřený zaměstnanec provozovatele dráhy je povinen se na požádání řidiče prokázat platným pověřením provozovatele dráhy. “ (4)*

Z tabulky č. 1 vyplývá, že v České republice je k 31. 12. 2017 celkem 7 870 železničních přejezdů. Dále je uvedeno, že železničních přejezdů zabezpečených některým typem zabezpečovacího zařízení je více než přejezdů označených pouze výstražným křížem.

Tabulka 1 - Železniční přejezdy v číslech

Počet přejezdů celkem	7 870
Přejezdy zabezpečené pouze výstražným křížem	3 782
Přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením (PZZ)	4 088
Přejezdy zabezpečené světelným PZZ (PZS)	3 741
PZS se závorami	1 370
PZS bez závor	2 371
Přejezdy zabezpečené mechanickým PZZ (PZM)	312
PZM obsluhované na dálku	86
PZM obsluhované místně	226
PZM 2 (přejezdy trvale opatřeny uzam. zábranou, odstraňovanou na požádání)	105
PZZ ostatní (jednodrátové, otočné, posuvné závory)	35
Přejezdy na silnicích I. Třídy	166
Přejezdy na silnicích II. Třídy	570
Přejezdy na silnicích III. Třídy	1 467
Přejezdy na místních komunikacích	1 766
Přejezdy na účelových komunikacích	3 901

Zdroj: (1)

### 2.1.3 Křížení dráhy a značení

Křížení dráhy se silniční komunikací je definováno zákonem o drahách č. 266/1994 Sb. § 6: „Pokud se železniční dráha kříží s pozemními komunikacemi v úrovni kolejí, musí být křížení označeno a zabezpečeno.“ (5)

Křížení je označeno na pozemní komunikaci svislým označením, které informuje řidiče o následujícím železničním přejezdu. Rozděluje se na dva typy, a to se závorami a bez závor. (6)  
Viz obrázek č. 4, 5.

#### **A 29 - Železniční přejezd se závorami**



Obrázek 4 - Železniční přejezd se závorami

Zdroj: (6)

#### **A 30 - Železniční přejezd bez závor**



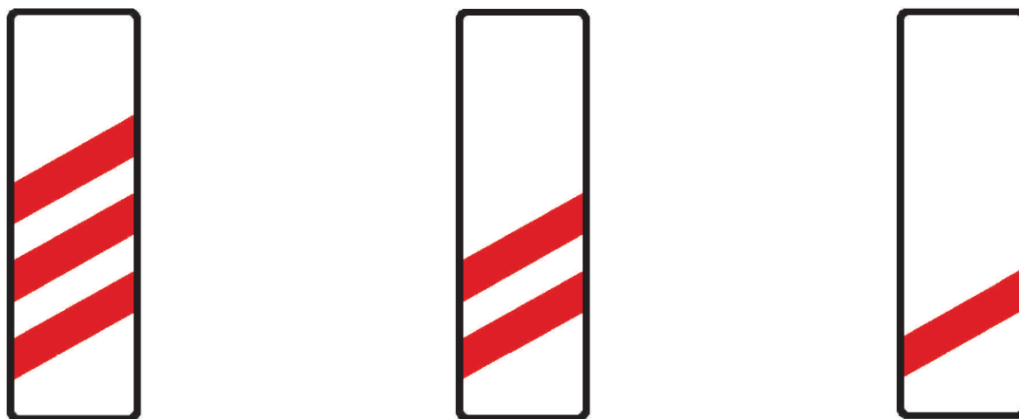
Obrázek 5 - Železniční přejezd bez závor

Zdroj: (6)

Přejezd je označen v určitých vzdálenostech, aby řidič měl dostatečný čas se na toto křížení připravit a přizpůsobit rychlost vozu. K tomu slouží návěstní desky.

Značka se třemi pruhy se umísťuje ve vzdálenosti 240 m s dvěma pruhy, ve vzdálenosti 160 m a s jedním pruhem ve vzdálenosti 80 m před železničním přejezdem, na který upozorňuje. Šikmé pruhy směřují ke středu vozovky. Viz obrázek č. 6. Nad návěstní desku se umísťuje značení „Železniční přejezd se závorami“ nebo „Železniční přejezd bez závor“. V případě jejich užití k označení přejezdu na odbočující pozemní komunikaci se mezi tyto značky vloží dodatková tabule „Směrová šipka“. (6) Viz obrázek č. 7.

### A 31a, A 31b, A31c - Návěstní desky



Obrázek 6 - Návěstní desky 240 m, 160 m a 80 m

Zdroj: (6)

Tabulka na obrázku č. 7 vyznačuje směr k místu, k němuž se vztahuje značka, pod níž je tabulka umístěna. (6)

### E 7b - Směrová šipka pro odbočení



Obrázek 7 - Směrová šipka pro odbočení

Zdroj: (6)

Poslední značení, které bývá umístěno v těsné blízkosti železničního přejezdu, je výstražný kříž. Určuje, jestli je přejezd jednokolejný, nebo vícekolejný.

Značka na obrázku č. 8 upozorňuje na jednokolejný železniční přejezd. Je-li řidič povinen před železničním přejezdem zastavit vozidlo, zastaví před touto značkou. (6)

#### **A 32a - Výstražný kříž pro železniční přejezd jednokolejný**



Obrázek 8 - Výstražný kříž pro železniční přejezd jednokolejný

Zdroj: (6)

Značka na obrázku č. 9 upozorňuje na vícekolejný železniční přejezd, kde je potřeba dbát zvýšené opatrnosti pro případ současného průjezdu vlaků z obou směrů. Je-li řidič povinen před železničním přejezdem zastavit vozidlo, zastaví před touto značkou. (6)

#### **A 32b - Výstražný kříž pro železniční přejezd vícekolejný**



Obrázek 9 - Výstražný kříž pro železniční přejezd vícekolejný

Zdroj: (6)

## 2.1.4 Číslování železničních přejezdů

Státní organizace Správy železniční dopravní cesty (SŽDC) z důvodu zvyšování bezpečnosti zavedla systém číslování železničních přejezdů v České republice, který umožňuje jednotnou, jednoduchou a jednoznačnou identifikaci. Tento systém číslování by měl usnadnit hlášení o vzniku nehody, například překážky na přejezdu apod. Každé číslo je jedinečné a je napsáno černým písmem na bílém štítku. (1)

Každý železniční přejezd na dráze celostátní a na drahách regionálních ve vlastnictví státu má přidělené svoje číslo. Tvar čísla je v případě přejezdu na dráze vlastněné státem P1, P2, P3 až P9000. V případě železničního přejezdu na regionální dráze nevlastněné státem má přiřazené číslo přejezdu tvar P9001 až P9999. V případě železničního přejezdu na vlečce má označení tvar P10000 až P99999, tedy pětimístné číslo. (1)

Umístění čísla (1):

- U přejezdů zabezpečených pouze výstražným křížem nebo přejezdovým zabezpečovacím zařízením mechanickým na rubové straně ramene každého výstražného kříže.
- U přejezdů zabezpečených přejezdovým zabezpečovacím zařízením světelným bez závor nebo se závorami na rubové straně světelné skříně, a to na všech výstražnicích.

Viz obrázek č. 10.



Obrázek 10 - Číslování přejezdů

Zdroj: (Autor)

### 2.1.5 Přejezdové zabezpečovací zařízení

Podle druhu zabezpečení dělíme železniční přejezdy na (8):

- zabezpečené
- nezabezpečené

Z hlediska zabezpečovací techniky na železnici nás zajímají pouze zabezpečené železniční přejezdy, tedy přejezdy, které jsou vybavené některým druhem přejezdového zabezpečovacího zařízení. Tato zařízení musí jednoznačně, zřetelně a včas varovat účastníky silničního provozu, že se k přejezdu blíží po trati kolejové vozidlo, kterému musí dát účastníci silničního provozu přednost. (8)

Varování účastníků silničního provozu je dááno prostřednictvím výstrahy, kterou spouští zabezpečovací systém železničního přejezdu tak, aby i nejdelší a nejpomalejší silniční vozidlo, které již nemůže zastavit před přejezdem, spolehlivě opustilo přejezd ještě před sklopením závorových břevnen (je-li jimi přejezd vybaven), příp. minulo hranici nebezpečného pásma na opačné straně přejezdu. Výstraha musí být vždy dávana tak, aby neomezovala provoz na pozemní komunikaci nad dobu nezbytně nutnou k zajištění bezpečného průjezdu kolejového vozidla. (8)

Podle druhu přejezdových zařízení mohou být dávány tyto výstrahy (8):

- světelná – dávana dvěma střídavě přerušovanými červenými světly, která jsou umístěna vedle sebe a jejich kmitočet je 60 cyklů za minutu.
- zvuková – dávana údery návěstního zvonce příp. houkačkou rovněž o kmitočtu 60 cyklů za minutu.
- mechanická – dávana břevnem závory, které je sklopeno do vodorovné polohy vzhledem k ose pozemní komunikace, ale za výstrahu lze považovat břevno v době jeho sklápění nebo zvedání.

## Přejezdové zabezpečovací zařízení PZZ-RE

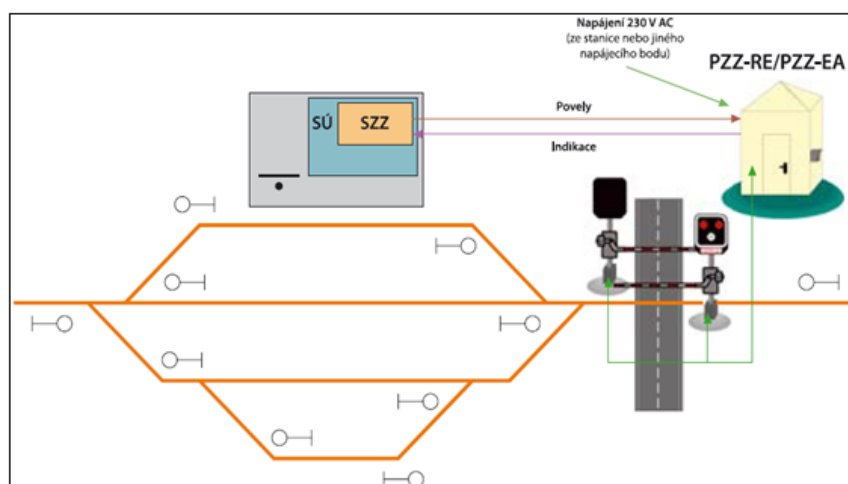
Jedná se o reléové zařízení s elektronickými prvky, které je určeno k zabezpečení úrovnňového křížení železniční tratě s pozemní komunikací. Toto zařízení může spolupracovat se všemi typy staničních i traťových zabezpečovacích zařízení. (8)

Může být použito jako přejezdové zařízení (8):

- Bez závor nebo se závorami.
- Na širé trati nebo v obvodu stanice.
- Na železničních tratích bez elektrické trakce nebo s elektrickou trakcí (stejnoseměrnou, střídavou).

Zabezpečovací zařízení lze aktivovat pomocí libovolných liniových nebo bodových prvků, např. počítačů náprav, nebo lze použít povelů ze staničního zabezpečovacího zařízení (SZZ).

Přejezdové zařízení je umístěno na širé trati v tzv. reléovém domku, který obsahuje především napájecí část zařízení, stojanový rám s panely tvořenými reléovými obvody, elektronické ovládání světel, mikroelektronické časové jednotky a vnitřní část spouštěcích a vypínacích prvků. Součástí reléového domku je vždy uzamykatelná skříňka s tlačítky místního ovládání, která je umístěna na vnější straně každého domku. (8) Viz obrázek č. 11.



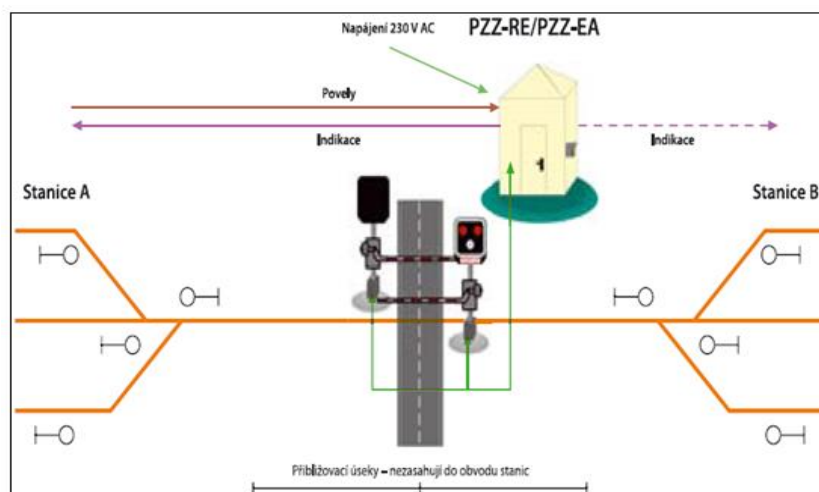
Obrázek 11 - PZZ-RE

Zdroj: (8)



## Přejezdové zabezpečovací zařízení PZZ-EA

Je elektronické zařízení, které je určené k zabezpečení úrovněho křížení železniční tratě s pozemní komunikací. Toto zařízení lze instalovat jak na širokou trať, tak i do železničních stanic. PZZ-EA je možné aktivovat pomocí povelů od SZZ nebo povelů od bodových a liniových prvků. Informace o stavu přejezdu (otevřeno/zavřeno) je také možné přenést na přejezdník nebo krycí návěstidlo. K přenosu indikací a povelů do dopravní se využívá přenosová řídicí stanice, kterou lze navázat na staniční zabezpečovací zařízení tak, aby bylo možné zobrazovat indikace a provádět ovládání přes Jednotné obslužné pracoviště (JOP). (8) Viz obrázek č. 12.



Obrázek 12 - PZZ-EA

Zdroj: (8)

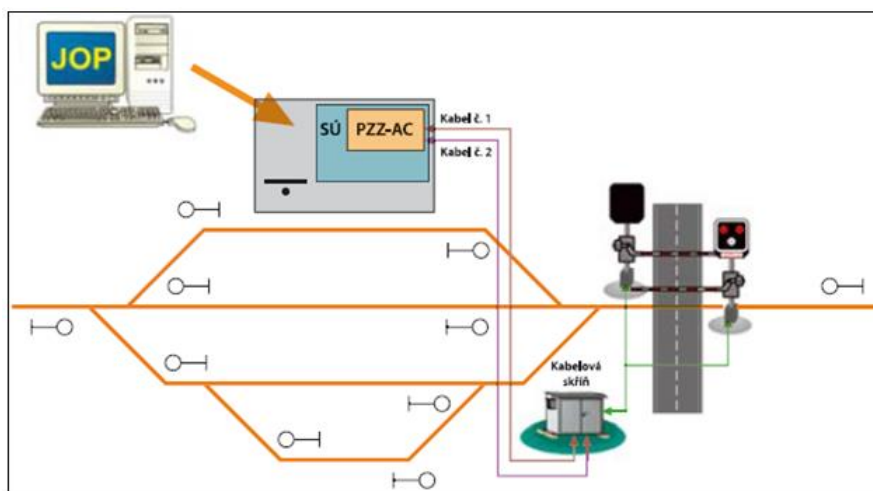
PZZ-EA lze použít ve stanicích (8):

- které jsou ovládány na základě SZZ bez vlastních zapínacích a vypínacích prvků,
- které jsou ovládány na základě SZZ a od vlastních zapínacích a vypínacích prvků.

## Přejezdové zabezpečovací zařízení PZZ-AC

Přejezdové zařízení PZZ-AC je reléové zařízení s elektronickými prvky, které je určeno k zabezpečení úrovněho křížení železniční tratě s pozemní komunikací. Předpokladem pro použití tohoto zařízení je jeho umístění v obvodu dopravního tak, aby byl kryt hlavními návěstidly, která jsou závislá na stavu přejezdového zařízení. (8)

Doba zahájení nebo ukončení výstrahy na přejezdu je odvozena od stavu SZZ a zařízení nemá vlastní zapínací a vypínací prvky. Pro zobrazení stavu PZZ-AC v dopravě je použito indikačních žárovek na kolejové desce nebo na kontrolní a ovládací skříni, popř. na monitoru JOP. Kontrolní a ovládací obvody PZZ-AC jsou umístěny ve stavědlové ústředně ostatní obvody např. pro místní ovládání přejezdu jsou umístěny v kabelové skříni, která se nachází v blízkosti přejezdu. (8) Viz obrázek č. 13.



Obrázek 13 - PZZ-AC

Zdroj: (8)

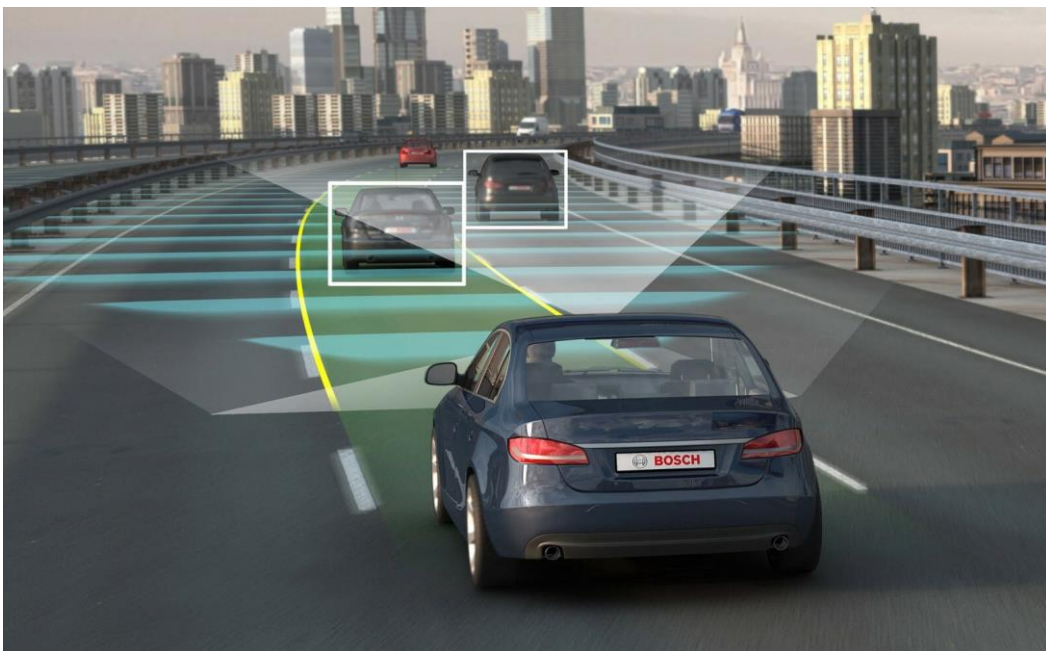
## 2.2 Analýza silničních vozidel a provozu

Druhá část analýzy se zabývá technickou vybaveností dosavadních vozidel a vozidel v blízké budoucnosti. Dále hlavně možnosti zásahu a přebrání kontroly nad vozidlem.

### 2.2.1 Autonomní řízení

Silniční vozidla už v dnešní době disponují tzv. autonomním řízením. Je to způsob řízení vozidla, nebo zásahy do řízení na základě výpočtů počítačového systému. Systém může využívat mnoho způsobů zjišťování dat. Data okolního dění lze získat pomocí kamer (počítačové vidění), GPS, radarů, lidarů (metoda dálkového měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku odraženého od snímaného objektu), nebo dalších senzorů. Tyto funkce činí auto „chytrým“. Viz obrázek č. 14.

Smysl tohoto systému má za úkol udělat silniční dopravu plynulejší a hlavně bezpečnější.



Obrázek 14 - Autonomní řízení

Zdroj: (9)

Autonomní řízení má více stupňů úrovně. Tato stupnice je mezinárodně uznávaná a udává, jak moc je daný vůz schopen samostatné jízdy.

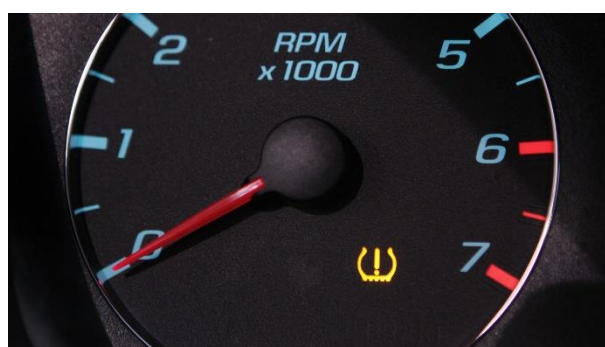
## 0. stupeň: Žádná automatizace (9)

- Aktuálně většina vozů.
- Řidič má nad vozidlem plnou kontrolu.
- Vůz řidiči předává jen základní informace k provozu vozidla.

Na obrázkách č. 15, 16 lze vidět základní vybavení vozu, bez jakýchkoliv asistenčních systémů.



Obrázek 15 - Autonomní ř. (stupeň 0.) přístrojová deska



Obrázek 16 - Autonomní ř. (stupeň 0.) otáčkoměr

Zdroj: (9)

## 1. stupeň: Podpora řidiče (10)

- Elektronika auta mírně zasahuje do řízení na základě aktuálních jízdních dat. Vždy je možná jen jedna funkce, nikoliv kombinace více funkcí.
- Adaptivní tempomat (udržování rychlosti a vzdáleností od vpředu jedoucího vozidla).
- Dále Lane Assist (udržování v jízdním pruhu), Front Assist (zabraňující kolizím) a další. (9)

Obrázek č. 17 ukazuje kombinaci adaptivního tempomatu a funkci Lane Assist. Na obrázku č. 18 automobil vybavený Front Assist zabraňuje srážce s chodcem.



Obrázek 17 - Autonomní ř. (stupeň 1.) Lane assist, Adapt tempomat

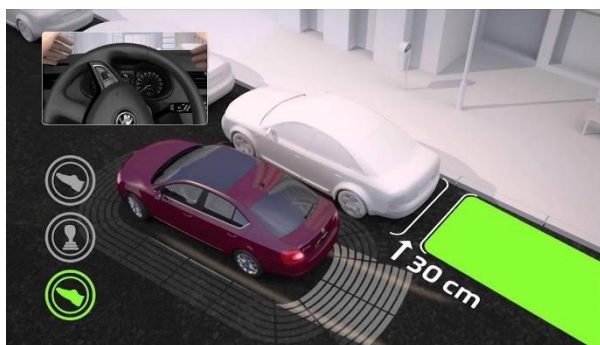


Obrázek 18 - Autonomní ř. (stupeň 1.) Front Assist

Zdroj: (9)

## 2. stupeň: částečná automatizace (10)

- Funkce stejné jako v předchozím bodě, ale nastává možnost jejich kombinací.
- Řidič musí být stále připraven převzít kontrolu. Např. systém automatického parkování na obrázku č. 19.



Obrázek 19 - Autonomní ř. (stupeň 2.) automatické parkování

Zdroj: (9)

## 3. stupeň: podmíněná automatizace (9)

- Vozidlo samo zvládá řešit situace v okolí, vyžadující okamžitou reakci.
- Řidič nemusí věnovat plnou pozornost jízdě, ale musí být připraven zasáhnout během časového úseku udávaným výrobcem.
- Např. mód pro dopravní zácpy (vůz má plnou kontrolu řízení).

#### 4. stupeň: vysoká automatizace (10)

- Vozidlo zvládá jízdu plně a samostatně bez zásahu řidiče. Výjimkou je např. snížená viditelnost nebo špatné počasí.
- Při výzvě systému vozidla o převzetí řízení řidičem a následná ignorace této výzvy auto samo a bezpečně zastaví.

Na obrázku č. 20 lze vidět systém autonomního řízení stupně 4., který má plnou kontrolu nad silničním vozem. Řidič vozu se nemusí vůbec věnovat řízení.



Obrázek 20 - Autonomní ř. (stupeň 4.)

Zdroj: (9)

#### 5. stupeň: plná automatizace (9)

- Nejvyšší stupeň autonomního řízení, kdy řidič nezasahuje do řízení vozu. Vše plně automatické.

Silniční vozidlo budoucnosti, na obrázku č. 21, není vybaveno prvky určenými k ovládání vozu a ani místem pro řidiče.



Obrázek 21- Autonomní ř. (stupeň 5.)

Zdroj: (9)

Některá vozidla už plně zvládají autonomní řízení stupně 4. (Například všechna vozidla vyrobená od roku 2018 firmou Tesla). Většina zemí toto řízení nepovoluje ze zákona. Stále není vyřešen problém odpovědnosti za vůz v případě kolize a další věci s tím souviselé.

Dalším problémem je nedokonalost těchto systémů. Vývoj je stále na začátku a žádný autonomní systém zatím není bezchybný. V roce 2020 technologie není rozšířená a schválená.

### **2.2.2 Dedikovaná komunikace krátkého dosahu (DSRC)**

Evropský telekomunikační normalizační institut přidělil ‚intelligentním dopravním systémům‘ (ITS), 30 MHz spektra v pásmu 5,9 GHz. (11)

Jde o jednosměrné nebo obousměrné bezdrátové komunikační kanály krátkého a středního dosahu speciálně určené pro automobilové použití a o odpovídající sadu protokolů a standardů. (11)

### **3 Návrh nového zabezpečovacího systému**

Z výsledků analýzy vyplývá, že hlavním problémem vzniku dopravních nehod na železničních přejezdech bývá řidič silničního vozidla kvůli nerespektování pravidel silničního provozu a nedání přednosti drážní dopravě.

Návrhem této práce je zvýšit bezpečnost silniční a železniční dopravy.

V případě blížícího se vlaku k železničnímu přejezdu je hlavním úkolem zamezit řidiči silničního vozidla vjet na železniční přejezd za účelem chtěného nebo nechtěného projetí, a tím plně zamezit mimořádným událostem.

#### **3.1 Hardware a konfigurace**

Navrhované zařízení musí být aplikováno jak na zdroj vysílání (železniční přejezd), tak na příjemce signálu (vozidlo). Realizace jednotlivých komunikačních a vyhodnocovacích systémů jsou popsány v dalších podbodech.

##### **3.1.1 Doplnění vysílacího zařízení na železničním přejezdu**

Jedním z prvků nového systému je doplnění dosavadních železničních zabezpečovacích systémů o zařízení schopné vysílat signály v určitém rozsahu, a tím předat informace přibližujícím se vozidlům.

Takové zařízení lze aplikovat jen na zabezpečené železniční přejezdy se světelnou signalizací. Nelze umístit na přejezdy jen s výstražným křížem z důvodu žádné signalizace příježdějícího vozidla.

Navrhované zařízení se bude skládat z integrovaného obvodu a vysílací antény. Bude umístěno přímo na zabezpečovací zařízení nebo v jeho blízkosti. V případě sepnutí zabezpečovacího systému dostane zařízení impulz a vyšle pomocí antény signál blížícím se autům.

Vyslaný signál bude přenášet číslo (identifikační číslo) konkrétního přejezdu. Tato informace je nezbytná pro správné vyhodnocení silničního vozidla, z důvodu vyhodnocení správného žel. přejezdu, v případě více přejezdů v jedné lokalitě.



Tento signál bude vyslán v spektru 30 MHz a v pásmu 5,9 GHz, podle DSRC. Dosah může být přibližně 300 metrů (dle druhu vysílače).

Informace budou vysílány ihned po přijetí elektronického signálu od zabezpečovacího zařízení, po zapnutí výstrahy (Výstraha je projev PZZ, kterým se účastníkům pozemní komunikace dává najevo, že se blíží kolejové vozidlo. Musí tedy neprodleně přejezd opustit a platí pro ně zákaz dalšího vstupu nebo vjezdu na přejezd). Toto vysílání bude aktivní po celou dobu výstrahy.

### **3.1.2 Komunikační zařízení a konfigurace silničního vozidla**

Vozidlo schopné komunikace s žel. přejezdem musí být vybaveno:

- Komunikačním zařízením, fungujícím na principu DSRC.
- Autonomním řízením minimálního stupně č. 2.
- GPS modulem a navigací.

Nezbytné inovace se musí na silniční vozidlo aplikovat už na začátku výroby pod hlavičkou zhotovitele. Dále musí být správně nakonfigurováno, podle popisu celého návrhu.

## **3.2 Vyhodnocení vozidla**

Postup elektronického systému vozidla v dané situaci se skládá z několika postupně aplikovaných úkonů. Hned po přijetí signálu od PZZ musí auto vyhodnotit, jestli se opravdu přibližuje k danému přejezdu. Získaná data ověří s GPS polohou a mapou. V případě správného vyhodnocení výsledku, přejde automobil k výpočtu vzdálenosti od bodu křížení a zahájí potřebné úkony.

### **3.2.1 Informace o železničním přejezdu**

Prvním krokem automobilu je informovat řidiče o skutečnosti, že se přibližuje k žel. přejezdu, na kterém jsou aktivní výstrahy, a sdělí i vzdálenost k tomuto bodu. Tento bod se provádí vždy, nezávisle na vzdálenosti.

Toto upozornění bude vizuálně zobrazené na obrazovce infotainmentu nebo virtuálního kokpitu. Dále tuto zprávu bude doprovázet hlasový projev. Buď přečtení zprávy slovy, nebo jen tón oznamující výjimečnou událost.

### **3.2.2 Zpomalení vozu a úplné zastavení**

Zpomalení vozu se rozděluje do dvou vzdáleností.

#### **100 metrů od železničního přejezdu**

V případě vozidla nacházejícího se blíže než 100 metrů a žádné reakce řidiče na situaci, vozidlo zpomalí na rychlost 50 km/h a znovu upozorní pomocí vizuálních a hlasových projevů.

Vzdálenost 100 metrů byla stanovena z důvodu bezpečného zpomalení a následného zastavení před přejezdem.

Pokud nastane situace, kdy se spustí výstražné zařízení a je vozidlo v rozmezí 100 až 50 metrů, systém automaticky vůz zpomalí na 50 km/h.

#### **50 metrů od železničního přejezdu**

Po projetí hranice vzdálenosti 50 metrů a žádné zpětné vazby řidiče na situaci, vůz samočinně zpomalí, až do úplného zastavení.

Tato vzdálenost byla určena na základě bezpečného zastavení silničního vozidla. Za předpokladu krizové brzdné dráhy na suchu, která činí 14 metrů. Respektive na mokru činí brzdná dráha vozidla 19 metrů. (12)

V situaci kdy se vozidlo nachází blíže než 50 metrů před přejezdem a v daný moment proběhne aktivace výstražného zařízení, autonomní systém vozidla vyhodnotí brzdnou vzdálenost vozu a pokud je možné bezpečné zastavení, tak vůz zastaví.

### **3.2.3 Zablokování řízení**

Vozidlo po úplném zastavení před žel. přejezdem zamezí řidiči jakýkoliv pohyb s vozidlem. Upozorní řidiče o takovém jednání.

Další možný pohyb je umožněn až po skončení výstražné signalizace (přerušení signálu). Řidič je informován pomocí zvukového pokynu a řízení vozidla je znovu aktivní.

### 3.2.4 Autonomní řízení

V případě vozidla s autonomním řízením 4. - 5. stupně, u kterého je v dané chvíli aktivováno samočinné autonomní řízení, je řízeno podle vlastního systému daného výrobcem. Navrhovaný systém popisován v této práci se aktivuje jen v případě ručního řízení vozem řidičem.

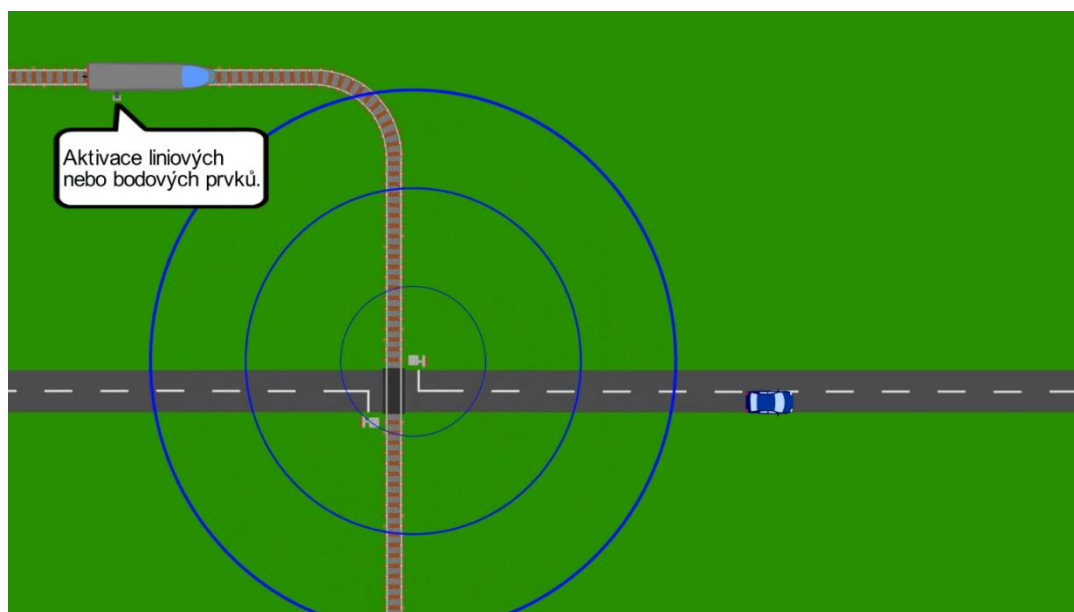
## 3.3 Animace návrhu

Z důvodu lepšího popisu a představy návrhu je vytvořena animace předem dané situace. Jde o úrovně křížení pozemní komunikace se železniční tratí. Toto křížení je zabezpečeno přejezdovým zabezpečovacím zařízením se světelnou a zvukovou signalizací, bez závor a dalšími důležitými prvky k jeho funkčnosti. Dále je vybaveno navrhovaným zařízením popisovaným v této práci.

Animace byla vytvořena v programu Express Animate.

Popis animace je po jednotlivých krocích a klíčových událostí návrhu. Animace obsahuje jedno drážní vozidlo a 3 silniční vozidla. Zkoumaným objektem je červené silniční vozidlo.

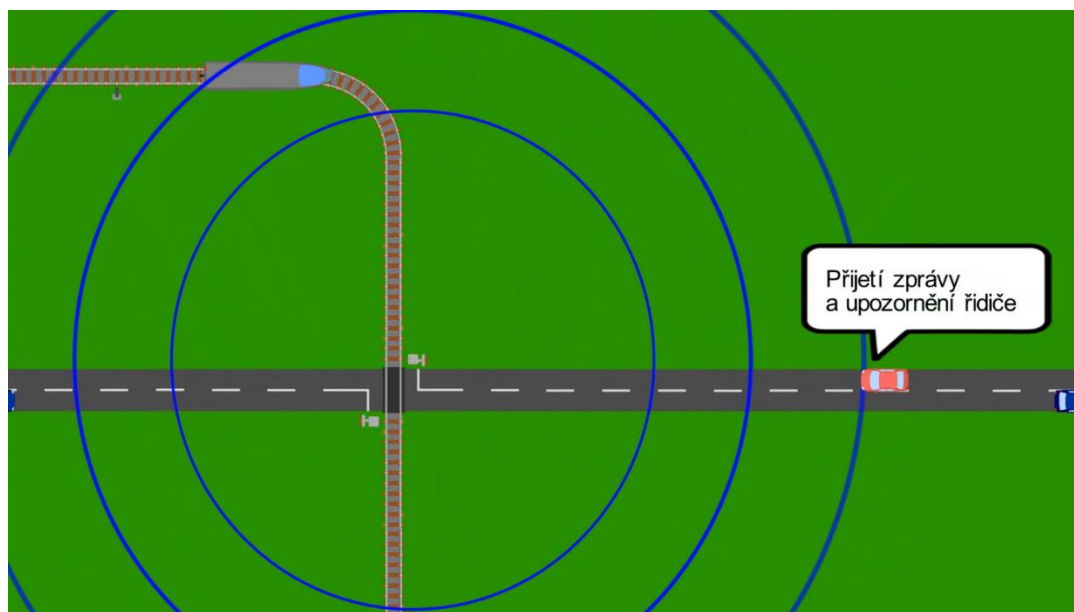
Blížící se drážní vozidlo na obrázku č. 22 aktivuje přejetím prvek, a tím spustí PZZ s navrhovaným vysílacím zařízením. Vysílač vyšle signál všemi směry do vzdálenosti 300 metrů od zdroje signálu (PZZ).



Obrázek 22 – Animace (Aktivace PZZ)

Zdroj: (Autor)

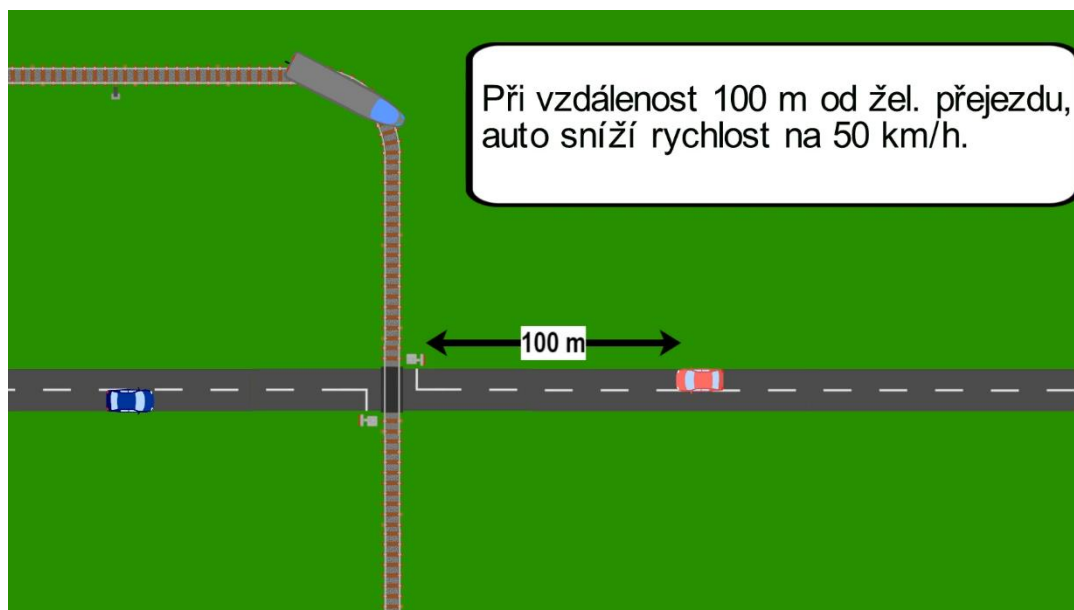
Na obrázku č. 23 přijímá zkoumané vozidlo informaci od vysílacího zařízení a zahajuje nastavený algoritmus. Po zpracování dat následuje zvukové a vizuální upozornění řidiče na skutečnost, že se blíží k železničnímu přejezdu s aktivní výstrahou. Vysílaný signál se přeruší až po skončení výstražné signalizace (v simulaci je signál přerušen dříve, z důvodu přehlednosti).



Obrázek 23 – Animace (Přijetí zprávy)

Zdroj: (Autor)

Ve vzdálenosti 100 metrů od PZZ a rychlosti vozidla vyšší než 50 km za hodinu, vozidlo samo tuto rychlost sníží na požadovanou rychlost, respektive 50 km za hodinu. Další navyšování rychlosti není řidiči umožněno. Viz obrázek č. 24.



Obrázek 24 - Animace (vzdálenost 100 m)

Zdroj: (Autor)

Důvod zpomalení je nezbytný k dalším krokům a splnění zákona o pozemních komunikacích.

Další milník nezbytných kroků vozidla je vzdálený 50 metrů od PZZ. V případě nečinnosti řidiče a při neadekvátním zpomalovacím manévru vozidlo samo začne zpomalovat. Viz obrázek č. 25. Vozidlo se zastaví těsně před bezpečnou zónu přejezdu.

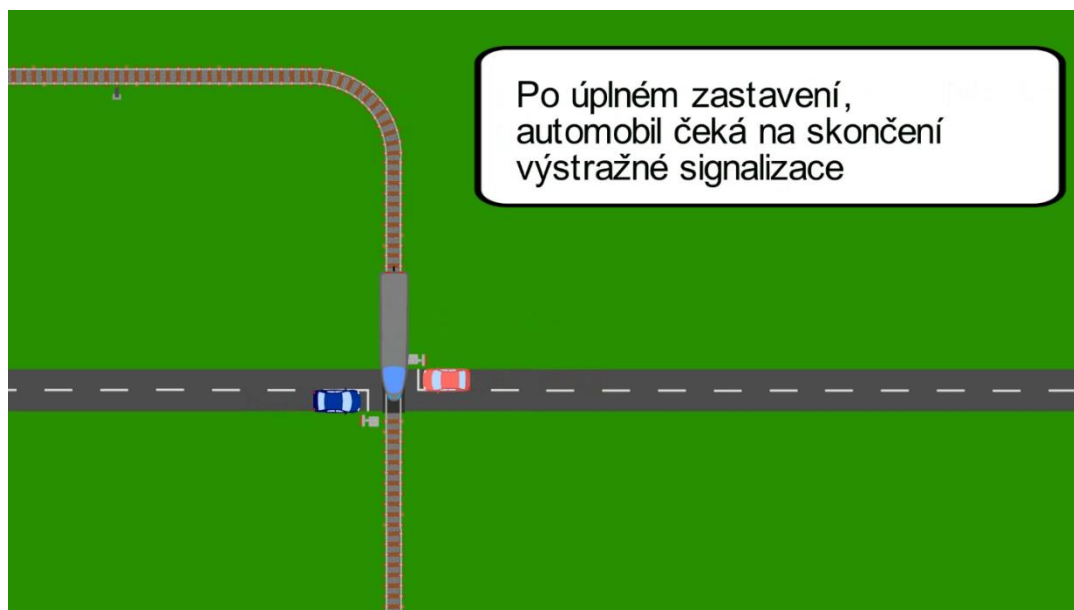


Obrázek 25 - Animace (vzdálenost 50 m)

Zdroj: (Autor)

Řidič je o zásahu informován pomocí zvukového a vizuálního upozornění.

Na obrázku č. 26 stojící silniční vozidlo řidiči neumožní další pohyb s vozidlem. Tato deaktivace řídicích prvků skončí až po přerušení výstražné signalizace a zrušení vysílaného signálu.



Obrázek 26 - Animace (Deaktivace)

Zdroj: (Autor)

Při opětovné aktivaci řídicích prvků vozidla je řidič upozorněn zvukovým a vizuálním signálem.

Vozidlo může dále pokračovat buď podle řídicích úkonů řidiče, nebo podle předem zadané trasy pomocí autonomního řízení.

### 3.4 Simulace návrhu

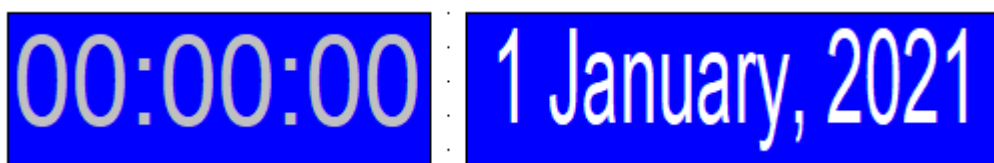
Pomocí simulace můžeme ověřit funkčnost nově navrženého systému, bez nutnosti zavedení do reálného provozu. Simulace přiblíží funkcionalitu navrhovaného systému a výsledná data.

Simulace byla navržena v programu Arena Simulation.

#### 3.4.1 Prvky simulace

Simulace je založena na náhodném generování entit (vozidel). Tato vozidla jsou generována pomocí exponenciálního rozdělení se střední hodnotou, která je definována jako funkce normálního rozdělení NORM(10,0.1).

Začátek replikace je nastaven na 1.1.2020 a 0:00 hodin. Viz. obr. 27.



Obrázek 27 - Čas a datum simulace

Zdroj: (Autor)

Frekvence projíždějících vlaků je nastavena na 20 minut. Aktivace proběhne každou 20. minutu simulačního času. Po uplynutí 1 minuty od aktivace je deaktivováno výstražné zařízení. V tomto případě jsou entity posílány druhou větví simulace a nejsou ovlivněné přejezdem. Lze vidět v příloze C.

V případě aktuálního průjezdu vlaku, simulace generuje rychlost vozidla pomocí trojúhelníkového rozdělení. Je charakterizováno třemi parametry  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , kde  $a$ ,  $c$  jsou krajní meze intervalu a parametr  $b$  značí místo, ve kterém je pravděpodobnost nejvyšší. Minimální hodnota byla nastavena na 40, nejvyšší hodnota 110 a hodnota 50, která zastupuje nejpravděpodobnější hodnotu rychlosti. Takto vygenerovaná rychlost se porovnává jestli je menší než 50 km/h. V případě správnosti výrazu se v proměnné reprezentující vozidla bez zásahu řidiče přičte hodnota 1. V opačném případě se hodnota 1 přičte do proměnné, která zastupuje systémové snížení vozidla.

Po předchozím vyhodnocení následuje rozhodnutí, jestli řidič zastavil před železničním přejezdem nebo byl zastaven systémem. Pravděpodobnost zastavení systémem je vyjádřena 1 %. Tato hodnota byla stanovena autorem na základě možné pravděpodobnosti. Výsledky jsou opět uloženy do proměnných.

Dále se v simulaci vyhodnocuje, jestli automobil jel z pravé nebo levé strany od přejezdu. Směr jízdy je nastaven na stejnou pravděpodobnost v obou případech a to 50 %. Určení směru se odehrává i v druhé větví simulace a přičítají se do stejných proměnných.

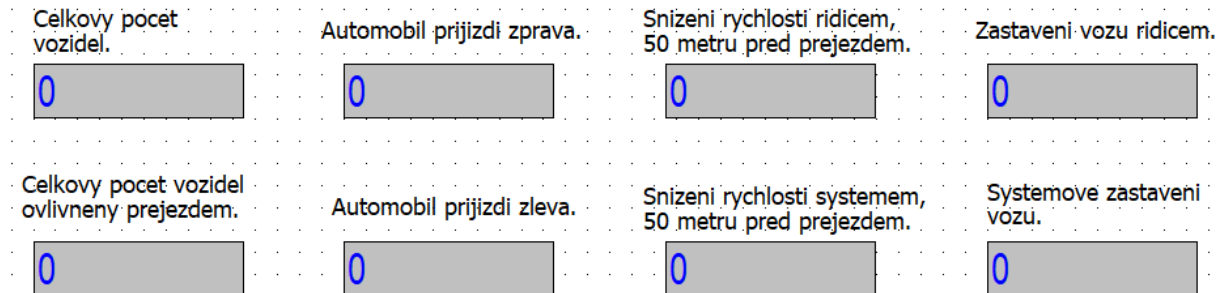
Po určení směru vozu, se entity řadí do fronty, která reprezentuje stojící vozidla před železničním přejezdem. Tato fronta je tvořena modulem Hold, který je propojen s modulem Signal. V případě příchodu entity do modulu Signal se uvolní fronta v modulech Hold.

Horní větev simulace zakončuje modul, který přičítá do proměnné, reprezentující počet ovlivněných vozidel železničním přejezdem.

Ve spodní větvi se nachází zmiňovaný modul Signal a vyhodnocení směru jízdy.

Na konci simulačního diagramu se nachází modul pro součet všech entit v replikaci.

Pro přehlednost a zkoumání v průběhu simulace, jsou aplikována okna zobrazující jednotlivé hodnoty zkoumání. Viz. obr. 28.



Obrázek 28 - Okna zobrazující statistické údaje

Zdroj: (Autor)

#### Význam oken:

- Celkový počet vozidel – zobrazuje celkový počet vygenerovaných silničních vozidel v jedné replikaci
- Celkový počet vozidel ovlivněný přejezdem – zaznamenává počet vozidel, která byla ovlivněna železničním přejezdem. Respektive v době přibližování byla aktivní výstraha na žel. přejezdu.
- Automobil přijíždí zprava – silniční vozidlo se přibližuje k železničnímu přejezdu z pravé strany. V případě pohledu shora se vlaková souprava pohybuje po vertikální ose a silniční vozidla po ose horizontální.
- Automobil přijíždí zleva – opak předchozího bodu.
- Snížení rychlosti řidičem, 50 metrů před přejezdem – hodnota v okně představuje situaci, kdy řidič vlastním konáním sníží rychlost vozidla 50 metrů před železničním přejezdem.
- Snížení rychlosti systémem, 50 metrů před přejezdem – tato hodnota udává počet zásahů systému, z důvodu nečinnosti řidiče.
- Zastavení vozu řidičem – zobrazuje počet zastavených vozidel řidičem.



- Systémové zastavení vozu – reprezentuje počet nutných zásahů systému a zastavení vozu před železničním přejezdem z důvodu ignorování světelné signalizace nebo nepozornosti.

Jednotlivé moduly simulace, vyhodnocují u každé entity (auta) možnosti, které ukládá do proměnných. Tyto proměnné se zobrazují ve výše popsáných oknech a ukládají se do celkových statistik.

### 3.4.2 Výstupní data

Simulační program umožňuje zvolit si délku simulace zcela libovolně. Lze nastavit čas (hodiny, minuty, sekundy), datum, délku dnů, počet dnů, počet replikací a další parametry. Tyto hodnoty mohou definovat začátek simulace, ale také její konec.

Pro ukázkou v této práci byla simulace nastavena na 24 hodin a 31 dní. Celkový počet provedených replikací 12.

Tabulka 2 - výsledná data simulace

	Průměr	Minimální průměr	Maximální průměr	Maximální hodnota
Celkový počet vozidel	133 781	133 253	134 186	268 279
Celkový počet vozidel ovlivněných přejezdem	6 668	6 582	6 728	13 495
Automobil přijíždí zprava	66 951	66 706	67 310	134 153
Automobil přijíždí zleva	66 829	66 513	67 156	134 142
Snížení rychlosti řidičem, 50 metrů před přejezdem	5 333	5 251	5 378	10 737
Snížení rychlosti systémem, 50 metrů před přejezdem	1 335	1 282	1 372	2 761

Zastavení vozu řidičem	6 601	6 508	6 655	13 358
Systemové zastavení vozu	67	55	75	150

Z tabulky č. 2 vyplývá, že měsíčně přes přejezd projede průměrně 133 781 aut. Dále že systém zamezil přejet přes železniční přejezd v případě aktivního výstražného signálu průměrně 67 autům.

## 4 Zhodnocení návrhu

Realizace návrhu v této bakalářské práci je jen čistě teoretická a nezasahuje do detailů řešení. Provedená simulace návrhu je vytvořena k aktuálním možnostem navrhovatele. Pro lepší a podrobnější návrh by bylo zapotřebí interní dokumentace a součinnosti s některým z automobilových výrobců a správou železniční dopravní cesty. Toto rozšíření stávající práce by mohlo být námětem další práce.

Navrhovaný systém byl vytvářen s hlavní prioritou zamezit řidiči jakýkoliv pohyb v bezprostřední blízkosti železničního přejezdu a vjetí na něj. V tomhle případě nastává problém při selhání z některého systému nebo jiné příčiny a dojde k deaktivaci vozidla přímo na železničním přejezdu. Tento případ je nepřijatelný a z tohoto důvodu by musela být ve vozidle možnost ručního znovu aktivování vozidla. V takovém případě by navrhovaný systém ztrácel na podstatě a bylo by znovu umožněno řidičům silničních vozidel vjetí na železniční přejezd se zapnutým výstražným zařízením.

V případě reálného aplikování návrhu do provozu by se zamezilo jakékoliv kolizi na úrovních kříženích a ohrožení cestujících v silniční i železniční dopravě.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na analýzu nehodovosti na železničních přejezdech v ČR. Tato část práce se dále zabývá rozbořem důvodů příčin nehod. Navrhovatel zjistil, že větší část nehod se stává na železničních přejezdech zabezpečených některým zabezpečovacím zařízením. Toto zjištění je dáno tím, že na přejezdech vybavených jen výstražným křížem jsou méně frekventované přejezdy. Dále bylo zjištěno, že většina nehod byla zapříčiněna řidiči silničních vozidel.

V práci byla dále provedena analýza dosavadní situace na železničních přejezdech, co se týče infrastruktury, zabezpečení přejezdů a zákonů, které se týkají křížení silničních a vlakových vozidel. Zákony uvádějí, že vlaková souprava má vždy přednost, a to z hlavních důvodů: větší hmotnosti vlakové soupravy, a tím větší brzdné dráhy, horší rozjezd než silniční vozidlo nebo délka vlakové soupravy. Řidič silničního vozidla nesmí vjet na železniční přejezd v případě jakékoliv výstrahy. Přejezdy dělíme na zabezpečené a nezabezpečené. To znamená, že přejezdy mají některé ze zabezpečovacích systémů, nebo jsou vybaveny jen výstražným křížem. Úrovňové křížení je vždy vybaveno dopravním značením, včetně číslování přejezdů.

Analýza silničních vozidel byla zaměřena na vybavenost vozu, za předpokladu zjištění, jak je řídicí systém vozu vybaven na samočinnou jízdu bez nebo se zásahy řidiče. Automobily v dnešní době disponují systémy, které jsou schopny převzít řízení a zabránit kolizím. Těmto systémům se říká Autonomní řízení a jsou rozděleny do několika stupňů automatizace.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout zabezpečovací zařízení, které by zabránilo střetu silničního a železničního vozidla. Toto zabezpečení je řešené pomocí navrhovaného zařízení, které je umístěno na zabezpečovacím zařízení. Pomocí vysílacího zařízení předá informace systému silničního vozidla v určité vzdálenosti od místa křížení. Tato informace je zpracována systémem vozu a zahájena posloupnost úkonů vozu. Tyto úkony jsou popsány a vyobrazeny na jednotlivých snímcích animace.

Navrhovaný systém má nedostatky, které by se daly vyřešit až v průběhu reálného aplikování nebo testování v provozu. Tyto nedostatky jsou například: více železničních přejezdů na jednom místě, silnice nevztahující se k přejezdu nebo jiné nestandardní situace. Pozitivou návrhu je velké snížení nehodovosti na zabezpečených železničních přejezdech a možný impulz zabezpečit více přejezdů, které zatím disponují jen výstražným křížem.

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) *Správa železniční dopravní cesty: Přejezdy v číslech* [online]. 2017 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/o-nas/bezpecnost/bezpecnost-na-prejezdech/prejezdy-v-cislech>
- (2) *Železniční přejezdy* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: [http://fast10.vsb.cz/rezac/download/bezp/zeleznichni\\_prejezdy.pdf](http://fast10.vsb.cz/rezac/download/bezp/zeleznichni_prejezdy.pdf)
- (3) *Nehody na přejezdech*. [online]. 2019 [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/proc-lide-bouraji-na-prejezdech-jsou-nepozorni-a-nerespektuj/r~2defd89ca96511e989de0cc47ab5f122/v~sl:4c2bc08827418d536a93dfa72208cede/>
- (4) *Zákon č. 361/2000 Sb.* [online]. 2000 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- (5) *Zákon č. 266/1994 Sb.: Zákon o dráhách* [online]. 1994 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- (6) *Vyhláška č. 294/2015 Sb.: Vyhláška, kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích* [online]. 2015 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-294>
- (7) *O železničních přejezdech* [online]. 2015 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.machinegun.cz/o-zeleznicnich-prejezdech/>
- (8) *Zabezpečovací technika v železniční dopravě: Přejezdové zabezpečovací zařízení* [online]. c2009 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://projekt150.havel.cz/node/130>
- (9) *Autonomní řízení: autolexicon.net* [online]. c2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/autonomni-rizeni/>
- (10) *Autonomní řízení: autoweb.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/autonomni-rizeni-dopodrobna-si-predstavit-peti-stupni-automatizace/>
- (11) *DSRC* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://iot.eetimes.com/europe-has-defined-dsrc-wifi-as-the-v2x-standard-and-now-faces-5g-vendors-revolt/>
- (12) *Dráha pro zastavení vozidla. Euromotor* [online]. [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <http://www.euromotor.cz/cs/clanky/poradenstvi-v-doprave/draha-pro-zastaveni-vozidla/>

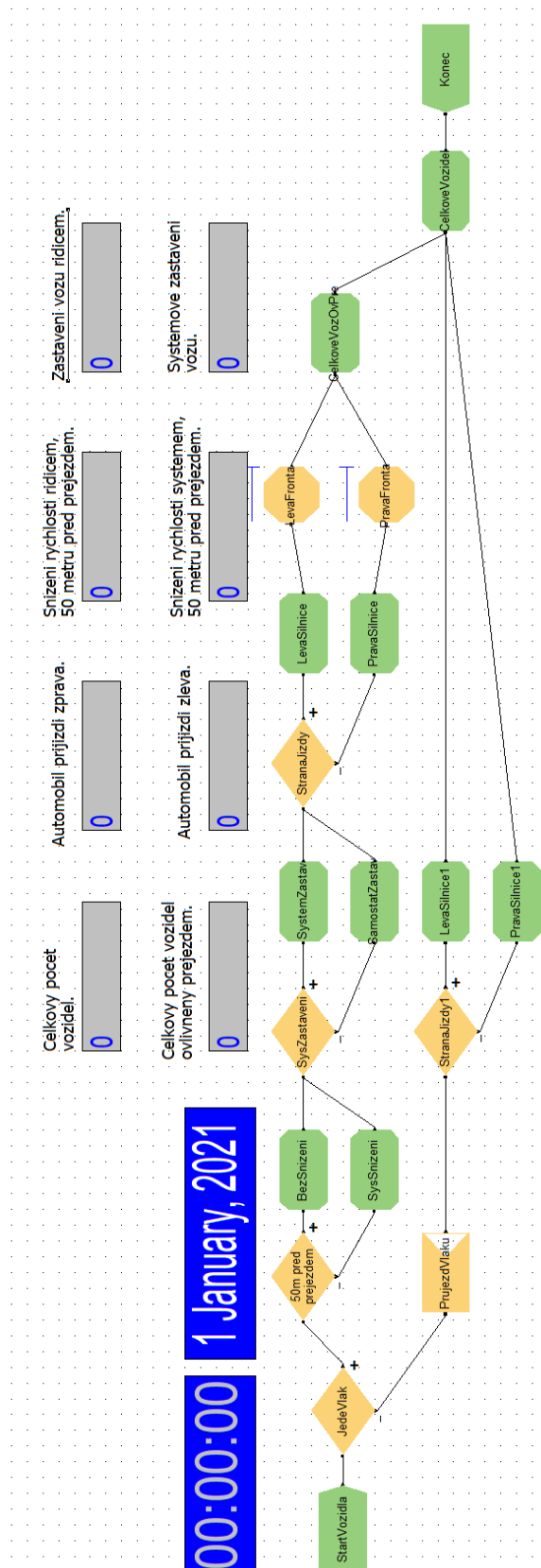
## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha A – Video animace návrhu (CD)**

**Příloha B – Simulace návrhu (CD)**

**Příloha C – Screenshot simulačního modelu**

# Příloha C



Obrázek 29 – Příloha C (Screenshot simulačního modelu)